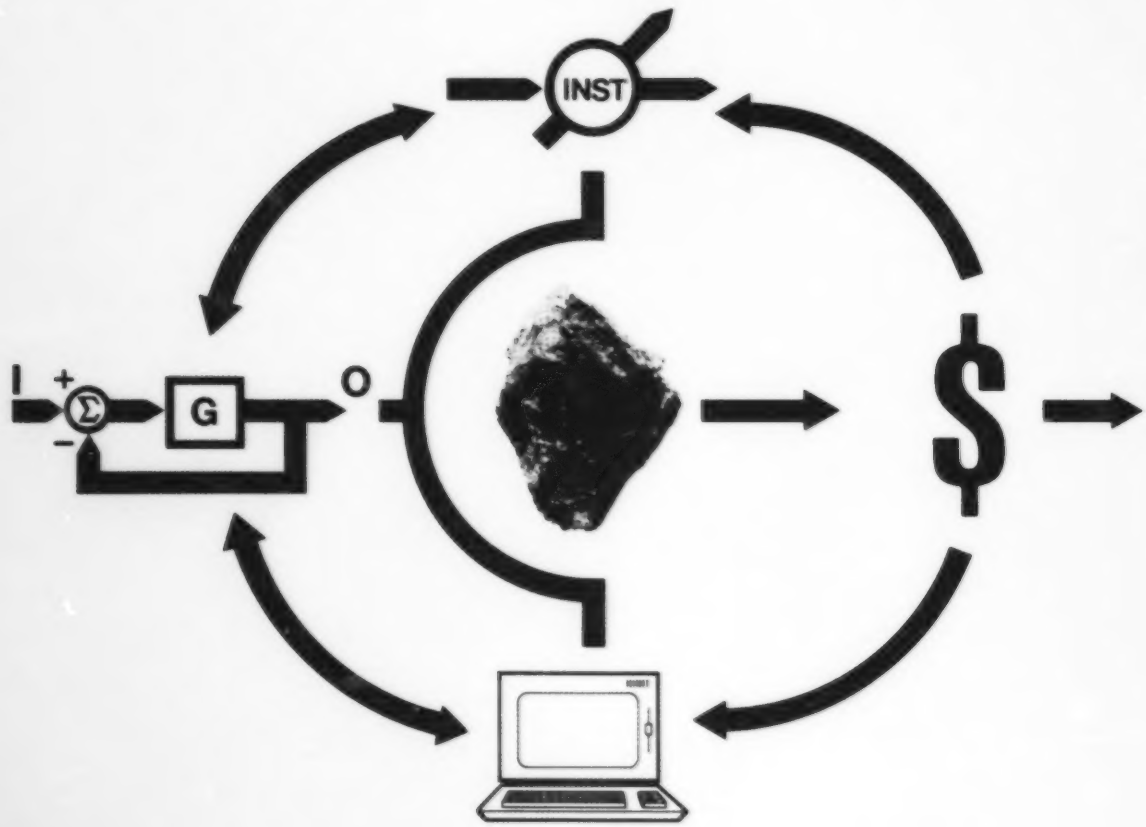
CANMET
Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie
Canada Centre for Mineral and Energy Technology

RÉGULATION DE PROCÉDÉ CANADIEN DE PRÉPARATION DU CHARBON : ORIENTATIONS EN MATIÈRE DE RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT

AHMED I.A. SALAMA

LABORATOIRE DE RECHERCHE SUR LE CHARBON, EDMONTON



SP87–11F

Énergie, Mines et Ressources Canada
Energy, Mines and Resources Canada

Canada

L'ENERGIE DE NOS RESSOURCES • NOTRE FORCE CREATRICE

THE ENERGY OF OUR RESOURCES • THE POWER OF OUR IDEAS

92-04577/

RÉGULATION DE PROCÉDÉ CANADIEN DE PRÉPARATION DU CHARBON : ORIENTATIONS EN MATIÈRE DE RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT

Ahmed I.A. Salama

Laboratoire de recherche sur le charbon, Edmonton

CANMET publication spéciale
SP87-11F

MICROMEDIA

© Ministère des Approvisionnements et Services Canada 1988

En vente au Canada par l'entremise de nos

Librairies associées
et autres librairies

ou par la poste au :

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

N° de catalogue : M38-15/87-11F
ISBN 0-660-13031-9

RÉGULATION DE PROCÉDÉ CANADIEN DE PRÉPARATION DU CHARBON : ORIENTATIONS EN MATIÈRE DE RECHERCHE-DÉVELOPPEMENT

par

Ahmed I.A. Salama*

Résumé

Le point de vue et les réactions de l'industrie concernant les programmes (actuels et prévus) de CANMET en matière de régulation de procédé de préparation du charbon sont présentés. Les résultats d'une enquête menée à l'échelle de l'industrie et des commentaires sur les problèmes d'exploitation, récents et permanents, en matière de régulation de procédé sont aussi exposés. Les réponses sont résumées et analysées, l'objectif étant d'identifier les exigences de l'industrie et de consolider les orientations des Laboratoires de recherche sur le charbon (LRC) en matière de R-D en régulation des procédés.

Les exigences de l'industrie, ainsi que les plans à moyen et à long terme des LRC en matière de régulation des procédés, peuvent être satisfaits par la mise en oeuvre d'une stratégie étape par étape dont la cadence sera dictée par la disponibilité des ressources. Les priorités en matière de R-D sont dégagées des résultats de l'enquête. La disponibilité et (ou) la mise au point de contrôleurs de cendres et (ou) de soufre en circuit peuvent être abordées dans un rapport sur la technologie de pointe et dans le cadre d'un programme conjoint de CANMET, de l'Énergie Atomique du Canada et de l'industrie visant à évaluer et à mettre au point ces contrôleurs.

Mots clés : préparation du charbon et systèmes experts; automatisation de la préparation du charbon; régulation des procédés de préparation du charbon; variables des procédés de préparation du charbon; transducteurs pour la préparation du charbon; les ordinateurs dans la préparation du charbon; régulateur logique programmable; R-D en matière de régulation des procédés et des appareillages.

---

*Chercheur, Section de recherche sur la préparation du charbon, Laboratoire de traitement des combustibles, Laboratoires de recherche sur le charbon, Centre canadien de technologie des minéraux et de l'énergie (CANMET), Énergie, Mines et Ressources Canada, Devon (Alberta) TOC 1E0.

CANADIAN COAL PREPARATION PROCESS-CONTROL RESEARCH AND DEVELOPMENT DIRECTIONS

by

Ahmed I.A. Salama*

Abstract

An industry viewpoint and feedback on CANMET programs (current and planned) in coal preparation process control are presented. Results of an industry-wide survey and commentary on recent and/or continuing operational problems in process control are also detailed. Responses are summarized and analyzed to identify industry requirements and to consolidate directions for process-control R&D at the Coal Research Laboratory (CRL).

Industry requirements, as well as the medium- and long-range plans of CRL in process control, can be fulfilled by implementing a step-by-step strategy, the pace of which is dependent upon the availability of resources. R&D priorities are guided by the results of the survey. The availability and/or development of on-line ash and/or sulphur monitors can be addressed by the preparation of a state-of-the-art report and by the establishment of a joint program between CANMET, Atomic Energy Canada, and industry to evaluate and develop these monitors.

Keywords: Coal preparation and expert systems; coal preparation automation; coal preparation process control; coal preparation process variables; coal preparation transducers; computers in coal preparation; programmable logic controller; R&D in process control and instrumentation.

---

*Research Scientist, Coal Preparation Research Section, Fuel Processing Laboratory, Coal Research Laboratories, Canada Centre for Mineral and Energy Technology (CANMET), Energy, Mines and Resources Canada, Devon, Alberta TOC 1E0.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ i
ABSTRACT iii
INTRODUCTION 1
MISE EN OEUVRE DES TECHNIQUES DE RÉGULATION DE PROCÉDÉ DANS LES USINES CANADIENNES DE PRÉPARATION DU CHARBON 1
ENQUÊTE SUR LA RÉGULATION DE PROCÉDÉ AUPRÈS DE L'INDUSTRIE CANADIENNE 2
COMMENTAIRES SUR LE QUESTIONNAIRE 2
Priorités en ce qui concerne les circuits 2
Circuits présentant des problèmes 3
Analyseurs en circuit 3
Régulateurs logiques programmables 3
Instruments numériques et analogiques 4
R-D CANADIENNE EN MATIÈRE DE RÉGULATION DE PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DU CHARBON : ORIENTATIONS FUTURES 4
Automatisation des usines 4
Régulation de procédé distribué 4
Régulateur logique programmable 12
Utilisation de la théorie moderne de la régulation 12
Optimisation et techniques adaptatives 12
Analyseurs de cendres et (ou) de soufre en circuit 13
Systèmes experts 13
Priorités en ce qui concerne les circuits 17
Cellule de flottation 17
Bain/cyclone à milieu dense (BMD/CMD) 18
Bac à piston 18
Sécheurs thermiques 18
R-D AUX LRC EN MATIÈRE DE RÉGULATION DE PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DU CHARBON : ORIENTATIONS FUTURES 19
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 21
BIBLIOGRAPHIE 25
ANNEXE A - QUESTIONNAIRE DISTRIBUÉ À L'INDUSTRIE 29
ANNEXE B - LES APPLICATIONS DE L'ORDINATEUR DANS LA PRÉPARATION DU CHARBON 37
ANNEXE C - RÉGULATION DE PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DU CHARBON 41
ANNEXE D - SYSTÈMES DE RÉGULATION DE PROCÉDÉ EXISTANTS 47
ANNEXE E - VARIABLES ASSOCIÉES AUX DIFFÉRENTS CIRCUITS 53
ANNEXE F - TRANSDUCTEURS UTILISÉS DANS LA PRÉPARATION DU CHARBON 59

TABLEAUX

1. Contrôle de la qualité, contrôleurs en circuit et priorités en matière de circuits 5
2. Circuits nécessitant une régulation de procédé et expérience préalable en matière de régulation de procédé 6
3. Implantation des techniques de régulation de procédé en circuit 7
4. Implantation des techniques de régulation de procédé hors circuit 7
5. Principe de régulation, type de boucle de régulation simple et stratégie relative au circuit 8
6. Stratégie de régulation au niveau de l'usine, système informatique utilisé et expérience préalable 9
7. Modèles informatisés hors circuit utilisés 10
8. Fabricants mondiaux de contrôleurs de cendres 14
9. Méthodes d'utilisation des contrôleurs de cendres 14
10. Travaux de développement en matière de régulation de procédé aux LRC 22
11. Méthodes utilisées dans la régulation de procédé 23

D–1 Systèmes de régulation de procédé existants 49

FIGURES

1. Régulation numérique directe 11
2. Régulation de procédé distribué 11
3. Intelligence artificielle et systèmes experts 15
4. Éléments d'un système expert 15
5. Stratégie de R–D en matière de régulation de procédé des LRC 24
6. Élaboration des techniques de régulation des procédés aux LRC 24

B–1 Les ordinateurs dans la préparation du charbon 40

INTRODUCTION

En 1985, le Canada a produit 60 millions de tonnes de charbon, dont 27 millions de tonnes (45%) lavées avant emploi. Ce charbon préparé est destiné principalement aux marchés internationaux de charbon métallurgique et thermique. Les mines de l'Ouest du Canada assurent 95% de la capacité de production de charbon du Canada.

Au cours des trois dernières années, la demande de charbon a diminué. Cette diminution de la demande, associée à une augmentation de la capacité de production, s'est traduite par une offre excédentaire sur le marché mondial. Confrontée à une réduction des prix et à un rétrécissement du marché, l'industrie charbonnière se voit obligée de chercher à optimiser ses opérations afin de réduire les coûts de production. Elle peut réduire le coût de lavage du charbon en améliorant la récupération des fines et, plus généralement, en maximisant le rendement de l'usine. La régulation de procédé et les récents progrès en technologie informatique peuvent aider à atteindre ces objectifs.

L'utilisation de systèmes et de techniques de régulation de procédé dans la préparation du charbon peut permettre d'accroître la souplesse des opérations, d'améliorer le rendement de l'usine et la récupération du charbon, de mieux utiliser le personnel, d'assurer un meilleur contrôle de la qualité et de réduire au minimum les coûts de production. On estime que la mise en oeuvre des systèmes et des techniques de régulation de procédé devrait améliorer la récupération du charbon dans les usines de préparation et que cette amélioration pourrait atteindre 5% (1).

CANMET (le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie) a pour mandat d'étudier les besoins de l'industrie et de lui fournir de nouvelles technologies permettant d'accroître la contribution du secteur des minéraux et de l'énergie à l'économie canadienne, par le biais de travaux de R-D orientés vers un but précis venant à l'appui de la R-D réalisée par l'industrie. Ce mandat suppose une collaboration étroite avec l'industrie et c'est la raison pour laquelle une enquête a été menée récemment (1986) auprès de l'industrie, en parallèle avec des visites sur le terrain. Des discussions ont eu lieu avec les directeurs d'usine pour connaître l'intérêt de l'industrie charbonnière en matière de régulation de procédé et pour établir les priorités en ce qui concerne les circuits d'usine spécifiques.

Dans le présent document, nous évaluons les résultats de l'enquête, nous examinons plus particulièrement la régulation de procédé en circuit et l'appareillage, nous présentons les orientations en matière de R-D sur la régulation des procédés de préparation du charbon et nous traçons les grandes lignes d'une stratégie à long terme (5 ans) pour les Laboratoires de recherche sur le charbon (LRC) de CANMET.

MISE EN OEUVRE DES TECHNIQUES DE RÉGULATION DE PROCÉDÉ DANS LES USINES CANADIENNES DE PRÉPARATION DU CHARBON

La plupart des usines canadiennes de préparation du charbon ont été mises en service au cours des deux dernières décennies mais elles faisaient un usage restreint des techniques de régulation de procédé. La plupart de ces usines sont équipées de systèmes sequentiels manuels de démarrage et d'arrêt avec des appareils analogiques pour contrôler certaines variables de procédé (2). Les progrès rapides de la technologie informatique des années 70 et 80 ont eu des conséquences considérables en ce qui concerne la régulation de procédé dans l'industrie. Ainsi, le régulateur logique programmable (RLP) a maintenant sa place dans les nouvelles usines.

En 1981, les LRC ont entrepris de mettre au point un système distribué de régulation de procédé pour divers circuits de l'usine pilote polyvalente de Devon (Alberta) (3). L'usine pilote est utilisée pour mettre au point, essayer et évaluer diverses stratégies de régulation de procédé et l'appareillage en circuit connexe avant de les recommander à l'industrie. Une partie des travaux de R-D en matière de régulation de procédé réalisés par les LRC est effectuée dans le cadre de contrats de recherche. Ainsi, deux de ces contrats ont été attribués pour l'étude des systèmes de régulation des circuits à milieu dense et de flottation par mousse. Le système de régulation du milieu dense est conçu pour maintenir la densité du milieu à une valeur prédéterminée (4). Il a été installé avec succès dans l'usine pilote et l'on prévoit poursuivre les travaux afin d'en améliorer la capacité. Les chercheurs ont terminé la mise au point d'un régulateur informatisé pour les cellules de flottation. À l'heure actuelle, les spécialistes des laboratoires s'appliquent à implanter le système de démarrage et d'arrêt séquentiels de l'usine pilote.

ENQUÊTE SUR LA RÉGULATION DE PROCÉDÉ AUPRÈS DE L'INDUSTRIE CANADIENNE

Pour assurer la pertinence du programme des LRC en matière de régulation de procédé, une enquête a été menée auprès de l'industrie, avec deux objectifs principaux :

- identifier les besoins de l'industrie et les secteurs problèmes;
- susciter une réaction de la part de l'industrie qui contribuera à la planification et à la stratégie globale des LRC.

Un questionnaire préparé en fonction de ces objectifs a été distribué, directement ou par la poste, à 12 laveries de charbon à travers le Canada; 7 ont répondu. Le questionnaire est présenté dans l'annexe A. Un résumé des réponses "brutes" est donné dans les tableaux 1-7, les usines qui ont répondu étant désignées par les lettres A à G.

COMMENTAIRES SUR LE QUESTIONNAIRE

Une analyse approfondie des réponses reçues montre que six des sept répondants sont en faveur d'un accroissement des travaux de R-D en régulation de procédé. Cependant, un directeur d'usine a fait remarquer que les contraintes économiques actuelles ne favorisaient pas l'introduction de changements dans son usine. Nous résumons et interprétons ci-dessous les principaux résultats de l'enquête.

Priorités en ce qui concerne les circuits

Selon le tableau 1, les priorités en ce qui concerne les circuits s'établissent ainsi :

Circuit	Flottation	BMD/CMD	Sécheur thermique	Épaississeur	Spirales	Bac à piston
Réponse	5/7	3/7	3/7	2/7	1/7	1/7

La priorité, du point de vue des avantages retirés, est donc accordée au circuit de flottation par mousse, suivi des circuits à milieu dense et du circuit de séchage thermique.

Circuits présentant des problèmes

Selon le tableau 2, les circuits suivants requièrent une régulation efficace pour que leur rendement soit amélioré :

Circuit	Flottation	Sécheur thermique	Spirales	Bac à piston
Réponse	4/7	3/7	1/7	1/7

Le circuit de flottation par mousse est celui qui pose le plus de problèmes dans l'usine. Ce résultat concorde avec les résultats d'études précédentes.

Analyseurs en circuit

Pour que les systèmes de régulation de procédé soient efficaces, il convient de disposer d'analyseurs en circuit fiables (cendres et(ou) soufre). Selon les tableaux 1 et 2, nous avons obtenu les réponses suivantes :

Analyseur en circuit	Cendres	Soufre
Réponse	4/7	1/7

Ces résultats reflètent les besoins régionaux (ainsi, les usines de l'Est du Canada ont besoin d'analyseurs de soufre, alors que les usines de l'Ouest ont besoin d'analyseurs de cendres). L'un des directeurs d'usine a mentionné qu'il avait déjà installé un contrôleur de cendres qui fait l'objet d'essais. Une étude critique de l'évaluation et de la disponibilité des contrôleurs en circuit sera prochainement réalisée par l'auteur et les résultats feront l'objet d'un rapport distinct.

Régulateurs logiques programmables

Six des sept usines utilisent des régulateurs logiques programmables. Les réponses se résument ainsi (voir le tableau 6) :

RLP	Allen Bradley	Modicon
Réponse	4/7	2/7

Ces résultats montrent que les régulateurs logiques programmables sont largement utilisés dans les usines canadiennes de préparation du charbon. Ils reflètent en outre l'efficacité et la fiabilité des RLP en ce qui concerne le contrôle et la régulation.

Instruments numériques et analogiques

Les résultats de l'enquête reflètent la rapidité des progrès dans le domaine des techniques informatiques. On constate en effet que les usines construites avant 1982 (voir le tableau 5) adoptent graduellement la régulation numérique. Cependant, les usines construites récemment sont équipées de certains instruments numériques. On prévoit que les futurs instruments utilisés pour la préparation du charbon seront numériques.

R-D CANADIENNE EN MATIÈRE DE RÉGULATION DE PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DU CHARBON : ORIENTATIONS FUTURES

Nous allons maintenant résumer les principales orientations et priorités en matière de R-D dans le domaine de la régulation des procédés de préparation des charbons canadiens.

Les annexes B et C résument brièvement la situation en ce qui concerne respectivement les applications de l'ordinateur dans la préparation du charbon et la régulation des procédés de préparation du charbon. Ces sujets sont examinés en détail dans plusieurs documents cités dans la bibliographie.

Automatisation des usines

Régulation de procédé distribué

Un système de régulation numérique directe est piloté par un ordinateur central qui exécute la plupart des fonctions des régulateurs locaux (fig. 1). La régulation numérique offre donc un moyen de simplifier un grand nombre de commandes analogiques : les boucles de régulation analogiques complexes sont remplacées par des boucles simples de régulation numérique et les calculs nécessaires à la régulation sont exécutés numériquement. Les systèmes de régulation numérique présentent cependant un grand inconvénient qui limite leur utilité dans l'industrie, à savoir l'absence d'un dispositif de secours global. Par exemple, en cas de défaillance de l'ordinateur central, la fonction de régulation centrale est annihilée et il n'y a pas de dispositif de secours.

On peut éliminer l'inconvénient du pilotage des fonctions de régulation des régulateurs locaux par un calculateur central en utilisant un système distribué (fig. 2). Dans le système distribué, les fonctions de régulation sont réparties entre deux, trois ou plusieurs ordinateurs pilotes ou microprocesseurs (5-11) qui sont facilement reliés à un ordinateur numérique de contrôle. Les divers microprocesseurs distribués sont interconnectés par des bus de données et ils peuvent dialoguer avec l'ordinateur de contrôle. D'une certaine façon, le système distribué est la version numérique de la régulation analogique, avec des microprocesseurs à la place des éléments de régulation analogiques. Le système distribué de régulation articulé sur des microprocesseurs possède un dispositif de secours et il présente les avantages de la régulation numérique en ce qui concerne la communication. De plus, ce système est plus fiable, plus souple, plus facile à entretenir et d'un fonctionnement plus simple. Autre avantage, il est équipé d'un système d'alarme (lumières clignotantes, écrans cathodiques clignotants, sonneries) qui permet plusieurs niveaux d'alarme. Tout indique donc que les systèmes de régulation de procédé distribué articulés sur microprocesseurs seront utilisés pour la régulation des procédés de préparation du charbon. Une comparaison entre les différents systèmes de régulation de procédé (actuellement sur le marché) est présentée dans l'annexe D. Ces renseignements sont extraits du rapport final d'un contrat de recherche sur la conception d'un système de régulation informatisée du procédé de flottation du charbon soumis à CANMET (12).

Tableau 1 – Contrôle de la qualité, contrôleurs en circuit et priorités en matière de circuits

Usine	Méthodes de contrôle de la qualité et de régulation de procédé	Contrôleurs en ligne et applications	Priorités en matière de circuit pour la régulation de procédé
A	– Échantillonneur automatique – Régulation des réactifs – Régulation de l'humidité – Bascules à courroie – Densité relative (DR) – Régulateurs de densité	– Régulation des réactifs – Régulation de l'humidité – Régulation en circuit de la densité – Analyseur de cendres essayé – Contrôleurs de vitesse d'alimentation	– Cyclone à milieu dense – Spirales – Épaississeur/filtre
B	– Échantillons horaires – Améliorations planifiées	– Centrifugeuse (contrôleur de couple) – Bain/cyclone à milieu dense (contrôleur de densité) – Épaississeur (profondeur du lit, contrôleur de couple) – Sécheur (régulateur et contrôleur de température)	– Cyclone à milieu dense – Flottation/analyseur de cendres
C	– Échantillonnage manuel Programmes de régulation de procédé		– Sécheur – Bac à piston – Épaississeur
D	– Échantillons pris sur courroie (horaires)	– Contrôleur (densité, niveau, % solides, débit, etc.)	– Analyseur de soufre – Produits en circulation (bilan massique) – Flottation
E	– Échantillonnage chronométré – Régulation de procédé (régulateurs typiques)	– Contrôleur des variables de procédé	– Analyse des cendres dans les produits de flottation
F	– Différents contrôleurs utilisés	– Boucles de régulation simples (non informatisées)	– Régulation du sécheur – Régulation de la densité des produits de flottation – Contrôle de la qualité des produits
G	– Échantillons horaires – Régulation des variables du procédé	– Contrôle des variables du procédé – Régulation des variables du procédé	– Régulation du sécheur – Flottation (par mousse %S) – Bain/cyclone à milieu dense (analyseurs en circuits)

Tableau 2 – Circuits nécessitant une régulation de procédé et expérience préalable en matière de régulation de procédé

Usine	Circuits nécessitant une régulation de procédé	Expérience préalable
A	– Spirales (qualité du produit) – Sécheur (domaine étroit; réglage de précision nécessaire)	– Étude réalisée dans le passé (coût non justifié)
B	– Flottation/analyseur de cendres	– Aucune
C	– Régulation du sécheur – Régulation du bac à piston à l'aide d'un contrôleur de cendres en circuit	– Épaississeur Enviroclear (problème de stabilisation)
D	– Optimisation du rendement et teneur en soufre – Régulation du sécheur (dans l'avenir) – Analyseur de soufre en circuit	– Divers systèmes en circuit examinés (problèmes de conception : présentation de l'échantillon ou reproductibilité des résultats)
E	– Flottation (cendres concentrées et régulation de l'addition de réactif)	– Aucune
F	– Sécheur (optimisation de la consommation de gaz) – Flottation (analyse des produits en circulation)	– Aucune
G		– Jauges nucléaires de densité remplacées par un système de tubes d'arrivée profonde
	– Régulation de la flottation	– Indication du niveau dans le silo non fiable – Analyseurs d'humidité éliminés (problème de nivellement)

Tableau 3 – Implantation des techniques de régulation de procédé en circuit

Usine	Contrôle	Démarrage et arrêt séquentiels	Boucles de régulation	Optimisation de procédé	Régulation adaptative
A	Oui	Non	Non	Oui	Non
B	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
C	Oui	Oui	Oui	Non	Non
D	Oui	Non	Non	Oui	Non
E	Oui	Oui	Oui	Non	Non
F	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
G	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui

Tableau 4 – Implantation des techniques de régulation de procédé hors circuit

Usine	Modélisation du séparateur densitométrique	Modélisation du séparateur granulométrique	Modélisation de la flottation	Modélisation du broyeur	Modélisation de l'épaississeur
A	Oui	Oui	Non	Non	Non
B	Oui	Oui	Oui	Non	Non
C	Non	Non	Non	Non	Non
D	Non	Oui	Oui	Non	Non
E	Pas de rép.	Pas de rép.	Pas de rép.	Pas de rép.	Pas de rép.
F	S/O	S/O	S/O	S/O	S/O
G	Oui	Oui	Oui	Non	Oui

Tableau 5 – Principe de régulation, type de boucle de régulation simple et statégie relative au circuit

Usine	Principe de régulation	Type de boucle de régulation simple	Stratégie relative au circuit
A	Cyclone à milieu dense (régulation de la densité)	Analogique	Cyclone à milieu dense
B	Cyclone à milieu dense (régulation de la densité–PID) prop–intégr–dériv) Sécheur (régulation de la température–PID)	Régulation du sécheur (numérique)	Cyclone à milieu dense (régulation de la densité) Flottation (régulation du réactif)
C	PI (prop–intégr)	Numérique	Bac à piston (valeur de réglage) Épaississeur (régulation floc.) Sécheur (régulation de la température)
D	PI PID	Numérique et analogique Numérique dans l'avenir	Cyclone à milieu dense (régulation de la densité)
E	PI PID	Analogique	Cyclone à milieu dense (régulation de la densité Flottation (régulation du niveau)
F	PI	Analogique	Flottation (contrôle de la densité et du niveau) CMD (régulation de la densité)
G	PI PID	Principalement analogique Numérique dans l'avenir	Cyclone à milieu dense (régulation de la densité) Flottation (régulation du niveau, du réactif et des dosages) Spirales (diviseurs)

Tableau 6 – Statégie de régulation au niveau de l'usine, système informatique utilisé et expérience préalable

Usine	Stratégie de régulation au niveau de l'usine	Système informatique utilisé	Expérience préalable
A	Pas de réponse	RLP (Allen Bradley)	Pas de réponse
B	Mélange de veines Flottation (optimisation du rendement)	RLP (Modicon 584)	Généralement très bonne
C	Microprocesseur distribué avec superviseur	RLP (Allen Bradley) Mini-ordinateur (HP-1000) (contrôle et commande)	Bonne (problèmes mineurs)
D	Régulation distribuée reliée au RLP	régulation distribuée (Fisher-Provox) RLP 2/30 & 3 (Allen Bradley)	Très bonne (RLP) Interface humaine (environnement contrôlé)
E	Supervision et coordination manuelle	RLP 3 (Allen Bradley)	Fiable et souple
F	S/O	Aucun	Aucune
G	Régulateurs de verrouillage Swanson (analogiques)	Foxboro 3 RLP (Modicon)	Excellente salle d'ordinateurs (entretien important)

Tableau 7 – Modèles informatisés hors circuit utilisés

Usine	Modèles
A	Pas de réponse
B	Simulateur semi-empirique (prédiction du rendement et qualité du produit) Mélange de veines
C	Aucun
D	Aucun
E	Aucun
F	Aucun
G	Programme Matbal Statistique (collecte de données)

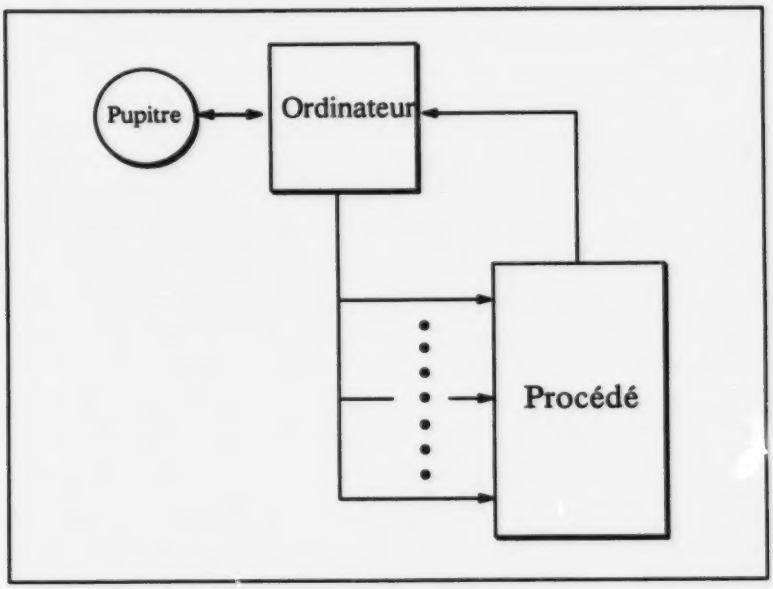


Fig. 1 – Régulation numérique directe

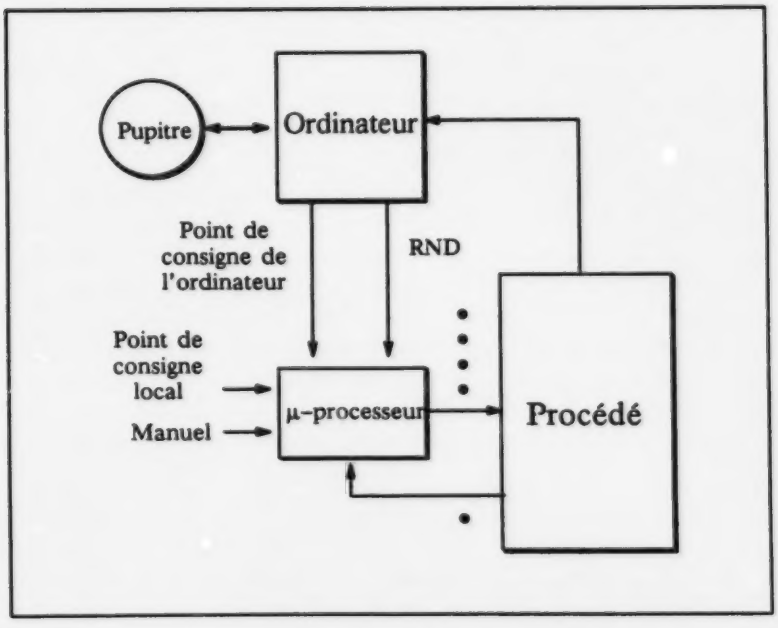


Fig. 2 – Régulation de procédé distribué

Régulateur logique programmable

En général, les commandes de régulation du procédé sont produites par l'ordinateur, mais on utilise parfois des appareils de régulation tels que les régulateurs logiques programmables (RLP) à la place ou en plus de l'ordinateur (13–17). Les RLP sont fiables et robustes et offrent les possibilités de régulation suivantes : démarrage et arrêt séquentiels, verrouillage de l'usine (s'il se produit une défaillance dans un dispositif, le flux en amont est arrêté), arrêt d'urgence, détection des variables du circuit d'alarme et contrôle. Par ailleurs, il existe des logiciels permettant de relier ces régulateurs aux mini–ordinateurs et aux ordinateurs individuels connus (16). L'usine pilote polyvalente des LRC de Devon (Alberta) a été modifiée en 1983 pour accueillir du nouveau matériel. L'usine permet maintenant 15 schémas de traitement répondant aux besoins des chercheurs et de l'industrie. Pour pouvoir utiliser tous ces schémas de traitement, il a fallu installer des RLP. Ainsi, on a installé un système Allen Bradley AB PLC 2/30 de taille moyenne pour commander le démarrage et l'arrêt séquentiels, l'alarme et les systèmes de contrôle. La prochaine étape consistera à installer un système graphique couleur Allen Bradley AB–Advisor pour afficher l'état de tous les moteurs et de toutes les grandeurs analogiques d'un schéma de traitement donné.

Les RLP à capacités étendues (calcul et mise en mémoire), et à prix raisonnables, si on les compare avec les ordinateurs, permettent en outre une exploitation avec plusieurs calculateurs et, partant, une plus grande fiabilité et une plus grande souplesse.

Utilisation de la théorie moderne de la régulation

Après la Seconde guerre mondiale, la conception des systèmes de régulation était considérée comme un art. Par la suite, les théoriciens réalisèrent un énorme travail théorique et appliqué dans les domaines de la formulation des problèmes, des techniques d'analyse, de la stabilité des systèmes et de l'optimisation. Ces fondements théoriques, combinés aux progrès rapides de la technologie informatique (logiciels et matériel) et à l'utilisation croissante des ordinateurs dans le contrôle des systèmes, ont permis l'émergence de la théorie moderne de la régulation (formulations faciles à mettre en oeuvre sur un ordinateur).

Du point de vue de la régulation des procédés de préparation du charbon, peu de techniques de régulation ont été mises en application; il convient de faire un effort particulier pour tirer profit des résultats enregistrés dans le domaine de la régulation de procédé. La plupart des circuits de préparation du charbon se prêtent à une formulation en accord avec la théorie moderne de la régulation, ce qui facilitera l'utilisation des ordinateurs (18–21). Tout système de régulation requiert une identification des variables du procédé pertinentes. Dans l'annexe E, nous avons tenté d'identifier les variables des différents procédés de préparation du charbon.

Optimisation et techniques adaptatives

La théorie moderne de la régulation sert de véhicule pour l'analyse et l'optimisation de la plupart des processus physiques à l'aide d'un calculateur numérique. Le niveau d'optimisation dépend de la hiérarchie de l'usine de préparation du charbon (18). Nous pouvons classer les niveaux d'optimisation de la façon suivante :

Niveau 1 – régulation simple : cette amélioration est apportée dans une boucle de régulation simple. Elle concerne la régulation locale et fait intervenir des phénomènes physiques simples tels que le contrôle du niveau, du débit et de la vitesse.
Niveau 2 – micro–optimisation : cette amélioration est apportée au niveau du circuit (cyclone à milieu dense, bac à piston, cyclone à eau ou épaississeur). Elle concerne l'optimisation du rendement

d'un circuit élémentaire, en fonction de critères techniques de production (par exemple, maximisation du rendement) ou de considérations internes ou économiques (par exemple, réduction de la consommation d'énergie).
Niveau 3 – macro-optimisation : l'optimisation est considérée dans un contexte plus large où les circuits élémentaires sont inclus dans l'ensemble des opérations de production. Il est donc nécessaire d'optimiser l'exploitation du procédé en fonction d'un critère interne (qualité de la production) qui dépend de facteurs externes tels que la concurrence et les lois de l'offre et de la demande.

Dans la plupart des cas, ces niveaux peuvent être atteints en faisant appel à une formulation dynamique, statique, linéaire, non linéaire, distribuée du système. Les problèmes peuvent être résolus à l'aide des techniques existantes (programmation mathématique linéaire, non linéaire, quadratique, principe du maximum et programmation dynamique) qui permettent d'améliorer la performance et, partant, de réaliser des bénéfices économiques.

La théorie moderne de la régulation constitue un outil très efficace lorsque la dynamique et les paramètres du procédé (constantes de temps, temps de séjour, etc.) sont connus. Toutefois, en pratique, il arrive souvent que l'on ne connaisse pas tous les paramètres du procédé. De plus, un grand nombre de circuits de préparation du charbon, tels que les circuits de flottation ou les circuits à milieu dense, comportent normalement des retards de processus (temps écoulé entre la production d'un signal de commande et la réponse du circuit). Dans de telles situations, la méthode de régulation adaptative constitue une solution efficace aux problèmes des paramètres inconnus et des retards du système. Dans ce type de régulation, on utilise un régulateur piloté par microprocesseur pour vérifier la performance de la boucle de régulation, pour déterminer la qualité de la régulation obtenue en fonction d'une norme prédéterminée et afin de calculer les nouveaux paramètres de réglage nécessaires pour conserver une performance donnée. De cette façon, sans provoquer de perturbations dans le processus, le régulateur maintient la performance de la boucle à la manière d'un "expert", c'est-à-dire de la même façon que le ferait un ingénieur en instrumentation pour "régler la boucle". Ce type de régulation à autoréglage s'adapte non seulement aux variations de gain dynamique qui dépendent de la charge, mais aussi aux variations des caractéristiques dynamiques liées au temps et(ou) aléatoires. Cette technique comporte plusieurs applications : a) régulation du pH, b) variations dynamiques du niveau en fonction de la capacité de l'usine et c) régulation du débit – usure des pompes et des robinets, encrassement des conduites, etc. Dans les usines qui utilisent ce type de régulateur, on a réalisé des économies de plusieurs milliers de dollars par an sur les coûts des réactifs et sur l'énergie consommée. Dans les années à venir, l'accent sera mis sur l'utilisation de ces régulateurs dans les circuits de préparation du charbon.

Analyseurs de cendres et(ou) de soufre en circuit

Les analyseurs de cendres et(ou) de soufre en circuit constituent des appareils de surveillance indispensables dans tout système de contrôle efficace de la qualité et de régulation de procédé. Une liste des principaux fabricants internationaux d'analyseurs de cendres en circuit est donnée dans les tableaux 8 et 9. L'auteur prépare une évaluation des analyseurs de cendres et(ou) de soufre disponibles.

Systèmes experts

Au cours des deux dernières décennies, des progrès considérables ont été réalisés dans le domaine de la technologie informatique en ce qui concerne la réduction de la taille des appareils, la rapidité des calculs et l'efficacité des algorithmes. Ces progrès, associés à la fascination exercée par les machines intelligentes et les perspectives qu'elles offrent, ont accéléré l'introduction de la technologie de l'intelligence artificielle (IA). La technologie de l'IA en est à ses premiers balbutiements car on n'en sait pas encore assez sur le fonctionnement du cerveau humain et sur la façon dont il traite

Tableau 8 – Fabricants mondiaux de contrôleurs de cendres (22)

Marque ou fabricant	Pays	Source de rayonnement	Mode de rayonnement	Gomme de teneurs en cendres (%)
CENDREX (DSM)	Pays-Bas	Rayons mous	Rétrodiffraction	3-15 <60
SIMCAR	Royaume-Uni	Tm 170 (γ)	Rétrodiffraction	2-30
GUNSONS SORTEX (phase 3)	Royaume-Uni	Pu 238 (γ)	Rétrodiffraction	5-20
HUMBOLDT-WEDAG (KHD)	RFA	Am 241 (γ)	Rétrodiffraction	3-10
ASHSCAN	Australie	Am 241 (γ) Cs 137 (γ)	Transmission	8-12 22-35
COALSCAN (PP)	Australie	Ra 226 (γ)	Transmission	----
AMDEL	Australie	Am 241 (γ) Cs 137 (γ)	Transmission	----
NUCOALYZER	États-Unis	Cf 252 (n)	Transmission	<30
MICHIGAN I.T.	États-Unis	Cd 109 (γ)	Transmission	45-80
EMA	Pologne	Am 241 (γ)	Rétrodiffraction	3-30
AZUK, EAZ	URSS	Sr 90 (β) Am 241 (γ) Cs 137 (γ)	----------	----

Tableau 9 – Méthodes d'utilisation des contrôleurs de cendres

Méthode	Marque
Méthodes sèches	SORTEX BERTHOLD-HUMBOLDT-WEDAG COALSCAN-Thrubelt COALSCAN-Shaking Tube SAI Ash Meter WULTEX
Mesure des schlamms	ASHSCAN AMDEL

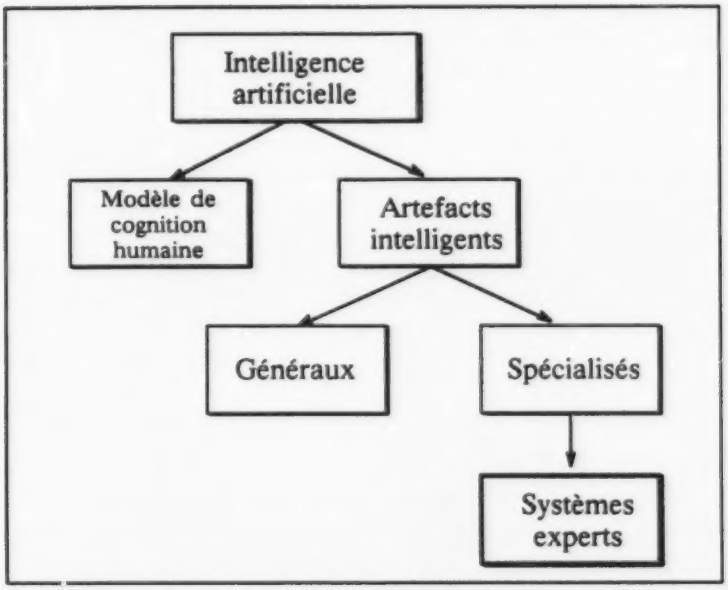


Fig. 3 – Intelligence artificielle et systèmes experts

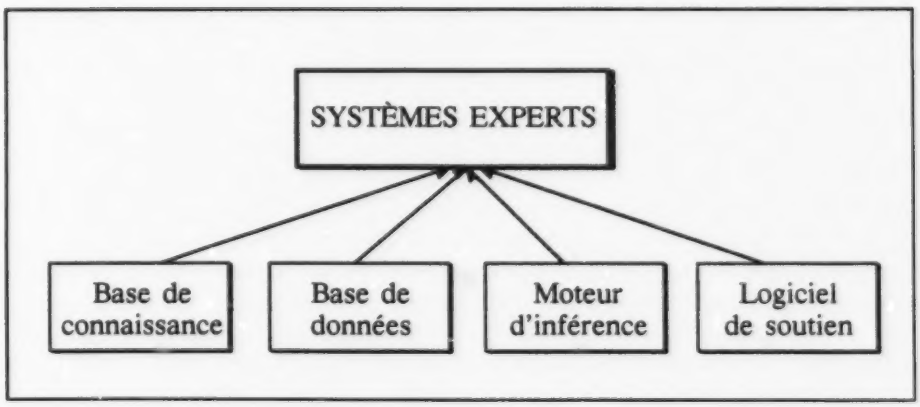


Fig. 4 – Éléments d'un système expert

l'information. Cependant, on a enregistré certains succès en médecine, en chimie et dans l'exploitation minière. Si l'on en juge d'après le rythme actuel des progrès, l'intelligence artificielle trouvera bientôt de nombreuses applications techniques et industrielles (par exemple : en robotique). Il nous paraît utile d'examiner brièvement certaines notions fondamentales relatives à l'intelligence artificielle ainsi que les possibilités d'application de cette nouvelle technologie à la régulation des procédés de préparation du charbon. Cet examen est mieux illustré par la revue de certaines définitions et de certains principes de l'IA (23, 24).

L'IA comporte deux produits différents : des modèles de cognition humaine et des artefacts intelligents. Les systèmes experts (SE) appartiennent à la deuxième catégorie. On crée des SE non pas tant pour modéliser la façon dont les experts résolvent des problèmes ou pour comprendre comment l'expert réfléchit, que dans le but pratique de recueillir les bénéfices de la réflexion des experts incorporée dans un système informatique (fig. 3). Cependant, les deux domaines sont liés et ce lien procure des avantages secondaires. Construire un SE revient, d'une certaine façon, à créer un modèle de la réflexion d'un expert qui nous permet de mettre au point de meilleurs modèles de cognition. À leur tour, les meilleurs modèles de cognition obtenus dans différentes disciplines nous permettent de construire un meilleur SE. Nous pouvons donc définir un SE comme un **système de traitement de la connaissance qui émule la réflexion d'un expert dans le but de résoudre des problèmes importants dans un domaine de compétence particulier** (23).

Les artefacts intelligents sont produits dans le but de résoudre des problèmes, ce qui constitue la principale raison de l'établissement de SE. Les artefacts sont soit généraux, soit dépendants d'un domaine, soit spécialisés, soit spécifiques d'un domaine. Les SE sont spécifiques d'un domaine (voir fig. 3).

Un SE comprend essentiellement une base de connaissance, une base de données, un moteur d'inférence et un logiciel de soutien (fig. 4). Le moteur d'inférence constitue la partie centrale. La base de connaissance contient toute information jugée appropriée pour résoudre les problèmes dans le domaine choisi. Elle est spécifique à une application particulière et elle peut être construite de plusieurs manières :

- en observant les opérateurs chargés de la régulation de procédé à l'oeuvre;
- en interrogeant les opérateurs;
- par les opérateurs programmant eux-mêmes leurs stratégies de régulation;
- par le régulateur qui acquiert la stratégie en circuit.

La base de données constitue la zone de travail du système. Le logiciel relie le système à l'environnement. Le moteur d'inférence fournit la force motrice au système. Ses fonctions déterminent les données dont il a besoin pour résoudre le problème qui se pose, pour obtenir ces données par l'intermédiaire du logiciel de soutien, pour incorporer ces données dans la base de données, pour se servir de la base de connaissances afin de faire des inférences et pour enregistrer ces inférences dans la base de données. Il exécute ces fonctions plusieurs fois de suite, jusqu'à ce qu'il ne puisse plus le faire ou qu'il n'en ait plus besoin (23). Cependant, certains commandent le système qui reçoit les données à traiter, utilisent le moteur d'inférence pour comparer les données à traiter avec la base de connaissance et avertissent l'opérateur en conséquence, par l'expression "système essentiel".

Tout système expert devrait posséder les caractéristiques suivantes :

- résoudre convenablement des problèmes difficiles;
- être facile à mettre en oeuvre;
- bien dialoguer avec les êtres humains;

- être capable de s'expliquer;
- travailler en temps réel;
- être facile à modifier et avoir une base de connaissances aisément extensible;
- posséder un moteur d'inférence qui travaille indépendamment de la théorie.

En ce qui concerne la régulation de procédé, les SE peuvent être utilisés pour la gestion des circuits d'alarme. Lorsque le système reçoit un signal d'alarme ou un signal de dépassement des limites, le moteur d'inférence fait appel à ses règles pour décider quelles mesures sont importantes pour une analyse de la situation. Les mesures retenues peuvent être effectuées plus rapidement que les autres, de façon à obtenir seulement les données nécessaires pour effectuer un diagnostic. Au besoin, on peut mesurer un paramètre qui ne le serait pas normalement. La structuration des règles permet de trouver celles qui sont appropriées sans avoir à consulter toute la base de données. La règle modifiée par la base de données peut diriger l'inférence vers la règle suivante à considérer, ou elle peut conduire à un examen de toutes les règles liées à un certain élément du système, tel qu'une jauge de réservoir ou un capteur de température. Avec les systèmes actuels, l'analyse et le diagnostic peuvent être réalisés suffisamment rapidement pour empêcher que la situation ne devienne dangereuse.

On estime que plus de la moitié des travaux actuels de développement sur les systèmes experts est consacrée à la gestion des circuits d'alarme. On prévoit que, d'ici 3 à 5 ans, les systèmes experts pourraient être intégrés dans les systèmes de régulation (pas seulement ajoutés à ces systèmes), de la même façon que les terminaux à écran de visualisation sont devenus la principale interface avec l'opérateur.

Priorités en ce qui concerne les circuits

Cellule de flottation

Les charbons de l'Ouest canadien sont friables et, partant, le minerai tout-venant contient de grandes proportions (20-60%) de fines (<0,5 mm). Il est indispensable de réaliser une bonne séparation dans le circuit de fines pour obtenir un rendement global de l'usine acceptable. La flottation par mousse est le procédé le plus couramment utilisé pour valoriser les fines; ce procédé est utilisé dans 10 des 12 usines de préparation canadiennes.

Bien que le principe de la flottation soit simple, le procédé lui-même est complexe et il fait intervenir un grand nombre de variables dont, en particulier :

- la catégorie de charbon;
- les mécanismes de flottation (collision, attachement, détachement);
- la taille des particules et la granulométrie;
- la taille et la densité de population des bulles;
- les conditionneurs de surface et les collecteurs;
- les conditions chimiques et hydrodynamiques;
- la turbulence et les modes d'écoulement dans la cellule;
- la dispersion des réactifs;
- le pH de la pulpe;
- la hauteur et la structure de la couche de mousse.

L'interdépendance des variables affecte considérablement le rendement des systèmes de flottation. En conséquence, il est généralement admis que le circuit de flottation d'une usine de préparation du charbon est le plus difficile à exploiter et que c'est avec ce circuit qu'on a le plus de mal à atteindre un taux de récupération maximal. Les réponses obtenues lors de l'enquête (voir les tableaux 1 et 2) confirment cette conclusion.

Des progrès modestes en matière de modélisation et de régulation des cellules de flottation ont été enregistrés en Australie, aux États-Unis et au Canada, comme en témoigne la documentation disponible (21, 25-29). Ces résultats montrent qu'il convient de poursuivre activement les recherches si l'on veut améliorer la récupération du charbon. Ces travaux devraient porter plus particulièrement sur :

- une meilleure compréhension des mécanismes de flottation et la mise au point de modèles dynamiques efficaces, fiables et réalistes pour simuler ces mécanismes;
- l'élaboration de stratégies de régulation efficaces à l'aide de la théorie moderne de la régulation;
- l'utilisation des algorithmes d'auto-réglage et de régulation adaptative disponibles (28).

Une liste détaillée des variables de procédé associées aux circuits de flottation est donnée dans l'annexe E.

Bain/cyclone à milieu dense (BMD/CMD)

Des progrès considérables ont été réalisés en ce qui concerne la mise au point des systèmes de régulation des circuits à milieu dense, en Australie, aux États-Unis, au Royaume-Uni, en Afrique du Sud, en France et au Canada (29-33). Dans tous les systèmes mis au point, on a cherché à réguler la densité du milieu et, dans certains cas, la viscosité. La plupart des systèmes utilisent des régulateurs classiques à action proportionnelle et intégrale (PI) et à action proportionnelle, intégrale et dérivée (PID). Dans une certaine mesure, la performance des régulateurs PI et PID est acceptable. Cependant, il convient de poursuivre les recherches dans le domaine de la régulation numérique perfectionnée en faisant appel à plusieurs principes,

- modulation d'amplitude des impulsions
- modulation de fréquence des impulsions
- modulation des impulsions
- auto-réglage et régulation adaptative

pour améliorer la performance du système de régulation en ce qui concerne le temps de réponse et la poursuite des points de consigne. Des systèmes mis au point à l'étranger pourraient être utilisés au Canada. Une liste détaillée des variables de procédé associées aux circuits à milieu dense est donnée dans l'annexe E.

Bac à piston

C'est l'Allemagne qui semble avoir réalisé les plus grands progrès en ce qui concerne les systèmes de régulation de procédé destinés aux bacs à piston (29). La profondeur du lit est contrôlée en permanence en fonction de la teneur en cendres du produit propre. Il pourrait être utile d'étudier la possibilité de contrôler le profil de pression de l'air en fonction de la maximisation du rendement selon la teneur en cendres des produits. Les systèmes mis au point en Allemagne pourraient être utilisés au Canada. Une liste détaillée des variables de procédé associées aux bacs à piston est également donnée dans l'annexe E.

Sécheurs thermiques

Il existe deux catégories de sécheurs thermiques : 1) les sécheurs à échange de chaleur direct, dans lesquels les gaz de combustion chauds provenant d'un four sont envoyés dans le charbon, chauffant directement le charbon et provoquant l'évaporation de l'eau; 2) les sécheurs à échange de chaleur indirect, dans lesquels les gaz de combustion chauds provenant d'un four réchauffent un agent de transfert de chaleur qui, à son tour, réchauffe et sèche le charbon. Dans chacune de ces catégories, il existe plusieurs types d'appareils. Les sécheurs à lit fluidisé font partie de la première catégorie.

Le sécheur thermique constitue un élément coûteux dans une usine de préparation du charbon, à la fois en termes d'investissement et de frais d'exploitation. Selon une estimation, le coût en capital du matériel est de 54 $ à 73 $ par an par tonne d'eau éliminée (32). En général, 70 à 80% de la quantité totale de charbon sec est séchée dans des sécheurs à lit fluidisé (32).

Pour le charbon séché de 14% à 5% d'humidité, en supposant que le combustible coûte 1 $ par million de Btu et que l'électricité coûte 5 ¢ par kWh, ces deux éléments des frais d'exploitation reviennent à 0,61 $ à 0,90 $ par tonne de charbon séché (32).

Pour réduire au minimum la consommation de combustible et d'électricité dans un sécheur à lit fluidisé, on doit maintenir le gaz entrant dans la chambre de séchage à une température aussi élevée que possible, mais pas assez pour que le charbon brûle, perde sa matière volatile ou s'oxyde de façon appréciable. Par ailleurs, les gaz chargés d'humidité doivent quitter la zone de séchage à une température suffisamment élevée pour qu'ils ne soient pas refroidis en dessous du point de rosée avant d'atteindre l'épurateur. Le système de contrôle et de commande doit régler correctement le taux de combustion et le débit du gaz pour maintenir des conditions de séchage qui soient sécuritaires, efficaces et fiables et qui permettent d'obtenir le degré de séchage désiré.

R–D AUX LRC EN MATIÈRE DE RÉGULATION DE PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DU CHARBON : ORIENTATIONS FUTURES

En 1981, les LRC ont mis en oeuvre un programme de régulation de procédé visant à automatiser leur usine pilote de 10 t/h installée à Devon (Alberta). À cette époque, on avait compris que le système de régulation distribuée était préférable au système de régulation numérique directe, surtout en ce qui concerne le système de secours et la souplesse de développement, comme nous l'avons vu plus haut (fig. 5). De plus, les chercheurs utilisent l'usine pilote pour élaborer, essayer et évaluer des stratégies de régulation et des instruments de contrôle en circuit avant de les recommander à l'industrie.

Une partie des travaux de R–D en matière de régulation de procédé réalisés aux LRC est exécutée par le biais de contrats de recherche. Deux de ces contrats portent sur des systèmes de régulation des circuits à milieu dense et des circuits de flottation. Le projet consacré au cyclone à milieu dense est terminé. Le système mis au point fera l'objet d'autres travaux de développement dans le but d'améliorer, en particulier, les algorithmes de contrôle. En ce qui concerne le système informatisé de régulation du circuit de flottation de l'usine pilote des LRC, les travaux de conception sont terminés. Un résumé de l'état des travaux en matière de régulation de procédé menés aux LRC est présenté dans le tableau 10.

Dans la plupart des circuits, la régulation se fait manuellement, qu'il s'agisse des points de coupure, des vitesses d'alimentation, etc. À l'heure actuelle, les spécialistes des laboratoires s'appliquent à implanter le système de démarrage et d'arrêt séquentiels mis au point pour les 13 schémas d'exploitation de l'usine pilote, en utilisant le régulateur logique programmable Allen Bradley AB PLC 2/30 disponible sur le marché.

Après avoir analysé les réponses au questionnaire distribué dans l'industrie ainsi que les orientations en matière de R–D canadienne sur la régulation des procédés de préparation du charbon, nous pouvons définir les orientations des LRC dans ce domaine.

Les travaux porteront principalement sur :

- le démarrage et l'arrêt séquentiels
- l'appareillage
- le contrôle et la production d'états
- les boucles de régulation simples
- l'optimisation de procédé, la commande adaptative et l'identification des paramètres
- la modélisation de procédé
- les systèmes experts

en respectant les priorités suivantes en ce qui concerne les circuits :

- flottation
- récupération de l'eau
- bac à piston
- cyclone à eau
- spirales

Le démarrage et l'arrêt séquentiels de l'usine pilote des LRC, le verrouillage, l'alarme et le contrôle sont commandés par un régulateur Allen Bradley AB PLC 2/30 disponible sur le marché (fig. 6). La programmation logique des différents schémas de fonctionnement est terminée. L'étape suivante consistera à installer un système graphique couleur AB-Advisor pour afficher les schémas de traitement, les variables de procédé, l'état du moteur ainsi que les tendances des variables du procédé. Le stockage des données relatives à l'usine ou à l'exploitation, les calculs et la manipulation des données, la production d'états et la régulation à un niveau supérieur sont gérés par un mini-ordinateur industriel HP 1000-A700. La communication entre le régulateur AB PLC 2/30 et le mini-ordinateur HP 1000-A700 se fait par l'intermédiaire d'une liaison à fibres optiques.

La plupart des instruments de contrôle, à l'exception des analyseurs de cendres et(ou) de soufre en circuit et du contrôleur de pourcentage de solides, sont disponibles et fiables. Tout au long de la mise au point des systèmes de régulation de procédé pour les différents circuits de l'usine pilote, les chercheurs évalueront et implanteront les instruments de contrôle et les boucles de commande nécessaires. Les microprocesseurs spécialisés conçus pour commander et optimiser un circuit particulier sont nécessaires pour communiquer avec le mini-ordinateur HP 1000-A700. Une liste des transducteurs couramment utilisés dans les usines de préparation du charbon est présentée dans l'annexe F (34).

Pour améliorer la régulation de procédé de préparation du charbon et pour la rendre plus efficace, il convient d'intensifier les recherches dans les domaines de l'optimisation de procédé, de la commande adaptative, de l'identification des paramètres, de la modélisation/simulation de procédé et des systèmes experts. Pourtant, on signale peu de travaux dans ces domaines. La compétence acquise par les chercheurs des LRC en matière de régulation de procédé, conjuguée à une utilisation des résultats obtenus à l'étranger, pourrait permettre d'élaborer un système de régulation de procédé exhaustif et efficace (35-49). Pour planifier une stratégie de développement en matière de régulation de procédé de préparation du charbon, à l'échelle des LRC, il est utile de connaître les domaines de développement, avec les méthodes et technologies disponibles (nationales et/ou internationales) associées à ces domaines. Ces renseignements sont donnés dans le tableau 11.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

À la suite des visites effectuées dans les usines de préparation du charbon, des discussions tenues avec les responsables et de l'étude des résultats de l'enquête, nous avons pu dégager les principales orientations en matière de R–D suivantes :

- continuer de mettre au point des contrôleurs précis et fiables, en particulier des contrôleurs de cendres et(ou) de soufre en circuit;
- définir des stratégies de régulation de procédé pour les circuits de préparation du charbon, afin de maximiser, en particulier, la récupération dans les circuits de flottation;
- stabiliser et améliorer la régulation du taux d'humidité dans les produits de l'usine;
- élaborer des modèles (dynamiques) informatiques efficaces qui puissent servir de référence pour l'exploitation du procédé.

En ce qui concerne les contrôleurs de cendres et(ou) de soufre en circuit, il est recommandé de mettre sur pied un projet conjoint LRC–Commission canadienne de l'énergie atomique–industrie pour mettre au point des contrôleurs de cendres et(ou) de soufre (produits en circulation, schlamms et circuits de flottation par mousse) qui seront très utiles pour toute l'industrie canadienne du charbon.

Tableau 10 – Travaux de développement en matière de régulation de procédé aux LRC

Circuit	Objectifs	État d'avancement des travaux
Cyclone à milieu dense	Régulation de la densité du milieu	Terminés
Cellule de flottation	Régulation de l'addition des réactifs Régulation de la densité Régulation de la qualité du produit Maximisation du rendement Régulation de la consommation d'électricité	Conception seulement
Bac à piston	Maximisation du rendement Régulation de la qualité	Manuelle
Cyclone à eau	Maximisation du rendement Régulation de la qualité	Manuelle
Récupération de l'eau	Régulation de l'addition de flocculants Clarté de l'eau	Manuelle

Tableau 11 – Méthodes utilisées dans la régulation de procédé

Domaine	Méthode	Disponibilité
Démarrage et arrêt séquentiels	Programmation par diagramme en escalier logique	Nationale
Appareillage		Nationale et(ou) internationale
Contrôle et production d'états	Logiciel	Nationale
Boucle de régulation simple	Logiciel et matériel	Nationale
Optimisation de procédé	Théorie moderne de la régulation Systèmes de régulation adaptative Systèmes d'identification des paramètres	Nationale et(ou) internationale
Modélisation et simulation de procédé	Modèles mathématiques Modèles empiriques Modèles probabilistes Simulation informatisée	Nationale et(ou) internationale
Systèmes experts	Modélisation de la cognition humaine Artefacts intelligents Utilisation dans la préparation du charbon	Nationale et(ou) internationale

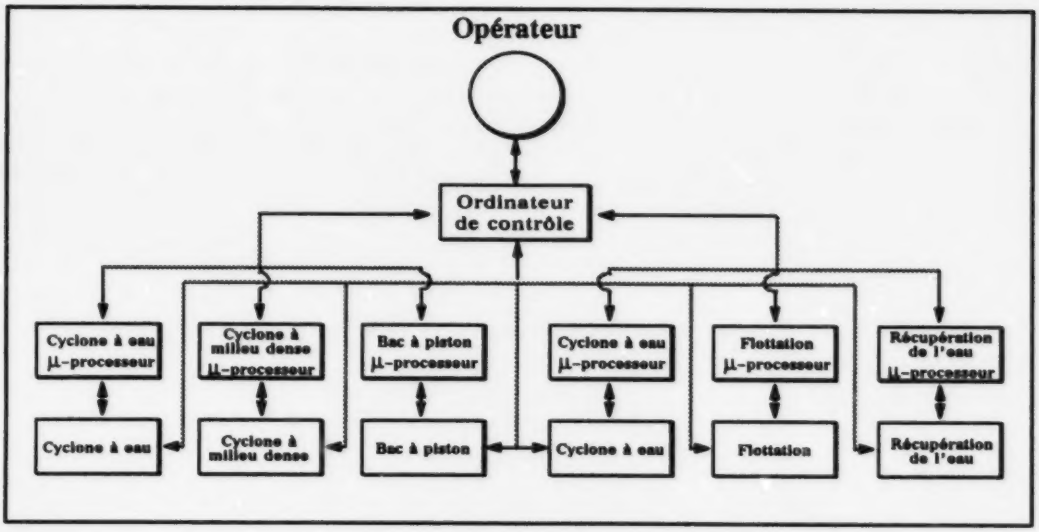


Fig. 5 – Stratégie de R-D en matière de régulation de procédé des LRC

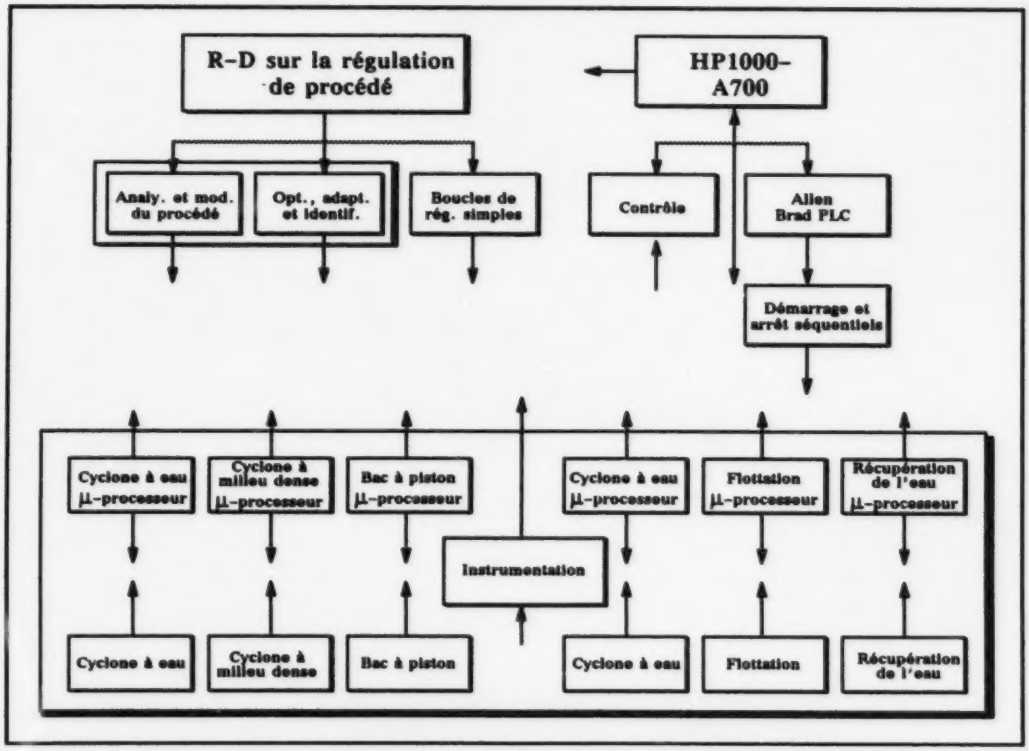


Fig. 6 – Élaboration des techniques de régulation des procédés aux LRC

Les travaux de développement internes en matière de régulation de procédé devraient se poursuivre, étape par étape, suivant les ressources disponibles. Les travaux devraient porter principalement sur l'élaboration de stratégies de régulation efficaces pour les différents circuits avec comme objectif de maximiser la récupération. D'après les besoins exprimés par l'industrie, l'automatisation des circuits de flottation constitue une priorité. Les résultats obtenus à l'étranger ainsi que les résultats des recherches fondamentales réalisées dans les universités canadiennes pourraient être utilisés dans la mesure où ils s'appliquent aux usines canadiennes de préparation du charbon.

Les chercheurs des LRC continuent et vont continuer d'élaborer des modèles (dynamiques) informatisés efficaces. Ces modèles permettront d'améliorer l'exploitation des circuits et de produire de meilleures simulations et prévisions. Ils pourraient aussi être utilisés pour la formation des ingénieurs spécialisés dans la préparation du charbon. Les chercheurs des LRC tiendront compte de tous les progrès réalisés à l'étranger ou dans les universités.

En conclusion, les résultats de l'enquête montrent que l'industrie fait de gros efforts pour améliorer l'efficacité des usines de préparation, dans des conditions économiques et d'opération difficiles.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bradley, N.C.; Allgood, G.O.; et Moyers, J.C. "Potential economic benefits from process control of coal preparation plants"; Oak Ridge National Laboratory (ORNL), USA 5736; 1981.

2. Lilleker, W.H.; Lambert, A.; et Blanchflower, C.A. "The role of coal preparation in the Cape Breton coal industry"; *Can Min Metall Bull* 68:761:108–114; September 1975.

3. Salama, A.I.A.; Mikhail, M.W.; et Shaw, D.L. "Development of a control system for a heavy medium circuit"; *Thirteenth Ann Min and Metall Ind Symp and Exhib*, Instrument Society of America (ISA); Salt Lake City, Utah, 15–17 May 1985; 12:49–59; 1985.

4. Salama, A.I.A.; Mikhail, M.W.; et Mikula, R.J. "Coal preparation process control"; *Can Min Metall Bull* 78:881:59–64; 1985.

5. McMahon, T.K. "Distributed digital control technology breakthrough"; *Chem Eng (NY)* 86:21:117–119; 1979.

6. Reed Marchant, G. "The 80s microprocessors, distributed control and advanced instrumentation for the mineral industry"; *Third IFAC Symp on Automation in Min, Miner and Metal Process*; Montreal, 18–20 August 1980; 15–24; 1980.

7. Bristol, E.H. "Process control: an application theorist's view of control"; *Inst Elect Electron Eng, Control Systems Mag* 2:1:3–8; 1982.

8. Buchner, M.R. et Lefkowitz, I. "Distributed computer control for industrial process systems: characteristics, attributes and an experimental facility; *Inst Elect Electron Eng, Control Systems Mag* 2:1:8–15; 1982.

9. Wyllie, R.J.M. "Distributed process control: today's prep plant philosophy"; *World Coal* 9:1:34–37; 1983.

10. Ara Barsamian, J. "Distributed computer systems for the plant"; *Chem Eng (NY)* 92:4:179–180,182; 1985.

11. Goscinski, A. et Zielinski, K. "The design of distributed control computer systems"; *Comput in Ind* 6:37-45; 1985.

12. Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET. "Development of a coal froth flotation control system"; Phase III system design; DSS contract Serial No. OSQ83-00287; 1985.

13. Roelofs, W.; Philipp, J.; et Becker, M. "Installation of a process computer at the new Walsum coal preparation plant"; *Glueckauf and Translation* 116:8:184-187; 1980.

14. McGee, N.F. "Microprocessor controllers"; *Chem Eng (NY)* 92:3:67-74; 1985.

15. MacQuarrie, J.J. "Programmable controllers: the quiet industrial revolution"; *Ind Control*: S12-S21; Fall 1984.

16. Pawlitza, E.F. "The wave of the future"; *Ind Control*: S8-S10; Fall 1984.

17. Bellinger, H. "Breaking the constraints of controller programming"; *Ind Control*: S25-S29, Fall 1984.

18. Scrimgeour, J.H.C.; Hamilton, R.E.; et Toong, T. "The use of mathematical modelling in developing advanced control systems for mining industry processes"; *Can Min Metall Trans* LXX111:305-314; 1970.

19. Roesch, M.; Ragot, J.; et Degoul, P. "Modelling and control in mineral processing industries"; *Int J Miner Process* 3:219-246; 1976.

20. Allgood, G.O.; Canright, G.S.; Brown, Jr., C.H.; et Hamel, W.R. "Dynamic modeling and simulation of froth flotation and vacuum filtration units"; *Instrument Soc of Amer Trans* 21:3:45-53; 1982.

21. Williams, M.C. et Meloy, T.P. "Dynamic model of flotation cell banks - circuit analysis"; *Int J Miner Process* 10:141-160; 1983.

22. Kamada, H.; Kawaguchi, H.; et Onodera, J. "On the coal blending process control by on-line ash monitors"; Paper 3.5 in *Tenth Int Coal Prep Congress*; Edmonton, 1-5 September 1986; 1:245-266; 1986.

23. Sell, P.S. *Expert systems - a practical introduction*. London, MacMillan; 1985.

24. Moore, A. "Design/construct decision support using expert systems"; *Process Eng* 68:1:25,27; 1987.

25. Lynch, A.J.; McKenzie, C.K.; Leach, K.R.; et Bateman, K.W. "Modelling of central Queensland coal flotation circuits for control purposes"; *Australas Inst Min Metall Conf*; North Queensland, Australia, September 1978.

26. Lyman, G.J.; McKenzie, C.K.; Leach, K.R.; Lynch, A.J.; et Bateman, K.W. "The automatic control of coal flotation circuits"; *Eighth Int Coal Prep Congr*; Donetsk, USSR, 21-26 May 1979; 2:5-18; 1979.

27. Hammoude, A. et Smith, H.W. "Experiments with self-tuning control of flotation"; *Third IFAC Symp on Automation in Min, Miner and Metal Process*, Montreal, 18-20 Aug. 1980; 213-218; 1980.

28. Electric Power Research Institute (USA). "Control systems in coal preparation plants"; EPRI CS – 1880; prepared by Envirotech Corporation; 1981.

29. Carr, K.R.; et al. "State–of–the–assessment of coal preparation plant automation"; Oak Ridge National Laboratory (ORNL), USA 5699; 1982.

30. Green, P. "Computer controls flow to cyclones"; *Coal Age* 86:6:90–96; 1981.

31. Lyman, G.J., Askew, H., Wood C.J. et Davies, J.J. "Dynamic modelling of dense medium cyclone washing circuits"; *Australas Inst Min Metall – North West Queensland Branch Mill Operators' Conf*; September 1982.

32. Moyers, J.C.; et al. *Coal Preparation Plant Automation*; Noyes Data Corporation; Mill Road, Park Ridge, New Jersey 07656; 1983.

33. Lambert, J.L. et Mentzer, P. "Automatic washing density regulation in a dense medium preparation plant"; Paper 4.2 in *Tenth Int Coal Prep Congr*; Edmonton, 1–5 September 1986; 1:286–299; 1986.

34. Jenkinson, D.E.; Cammak, P.; et Baillie, D. "Transducers for coal preparation plant control systems"; Paper D.4 in *Ninth Int Coal Prep Congr*; New Delhi, India, 29 November – 4 December 1982; 1982.

35. Cierpisz, S. et Gottfried, B.S. "Theoretical aspects of coal washer performance"; *Int J Miner Process* 4:261–278; 1977.

36. Sullivan, A.M. "U.K. computerize coal prep plants"; *Coal Age* 84:1:92–94,97–98,101; 1979.

37. Clarkson, C.J. et Leach, K.R. "A control strategy for automatic optimization and control of central Queensland preparation plants"; Paper F1 in *First Aust Coal Prep Conf*; New Castle, 6–8 April 1981; 1981.

38. Philipp, K. et Pfannestiel, M. "Feasibility and limits of automation in coal mining"; *Glueckauf and Translation* 117:10:253–256; 1981.

39. Chessel, T. "Process control – what's new and what's coming"; *Can Chem Process* 63:16–17,19; November 1983.

40. Finlayson, N. "Australia develops process control system for coal preparation plant"; *Aust Coal Miner* 5:2:46–51; 1983.

41. Green, P. "Owners automate plants slowly"; *Coal Age* 80:7:74–76; 1983.

42. Humphereys, K.K. et Leonard, J.W. *Basic Mathematics and Computer Techniques for Coal Preparation and Mining*; Marcel Dekker Inc.; New York and Basel; 1983.

43. Wizzard, J.T.; Killmeyer, R.P.; et Gottfried, B.S. "Computer program for evaluating coal washer performance"; *Min Eng (Littleton, Colorado)* 35:3:252–257; 1983.

44. Zigmond, R.D.; Ramani, R.V.; et Frantz, R.L. "Computer program for the analysis of coal preparation plant economics"; *Min Eng (Littleton, Colorado)* 34:12:1688–1696; 1983.

45. Brightman, J.R. "Control systems for mineral preparation and handling plant"; *Colliery Guardian* 232:6:217–218,220; 1984.

46. Garon, M. "On-line computer applications in mineral processing"; *Can Min Metall Bull* 78:878:55-58; 1985.

47. Salama, A.I.A. et Mikhail, M.W. "Optimization of coal or mineral circuits"; *Third Conf on the Use of Comput in the Coal Ind*; Morgantown, West Virginia, 28-30 July 1986; 169-176; 1986.

48. Brown, T.S. et Wieckowski, A.M. "Process simulation of coal preparation plants"; Paper 3.3 in *Tenth Int Coal Prep Congr*, Edmonton, 1-5 September 1986; 1:217-231; 1986.

49. Salama, A.I.A. "Yield maximization in coal blending"; Paper 3,2 in *Tenth Int Coal Prep Congr*, Edmonton, 1-5 September 1986; 1:196-216; 1986.

ANNEXE A

QUESTIONNAIRE DISTRIBUÉ À L'INDUSTRIE

QUESTIONNAIRE DISTRIBUÉ À L'INDUSTRIE

REMARQUE : POUR TOUT RENSEIGNEMENT CONCERNANT CE QUESTIONNAIRE, S'ADRESSER À :

NOM : Dr. Ahmed I.A. SALAMA

POSTE : CHERCHEUR

Téléphone : (403) 987-8235

RÉGULATION DE PROCÉDÉ

Usine : _____

VUE D'ENSEMBLE

CIRCUITS :

Récipient à milieu dense
Cyclone à milieu dense
Bac à piston
Hydrocyclone
Flottation
Déshydratation
Séchage
Traitement de l'eau

1. Quelle(s) méthode(s) de contrôle de la qualité et(ou) de régulation de procédé est(sont) utilisée(s) dans l'usine? Sont-elles fiables et adéquates?

_____

_____

_____

_____

_____

2. Utilisez-vous le contrôle en circuit dans votre usine? Dans quel but et où?

3. Dans quel circuit serait-il le plus avantageux de faire appel au contrôle en circuit et à la régulation de procédé? Classez vos circuits par ordre de priorité et indiquez ce qui devrait être réglé.

4. Quel(s) circuit(s) pose(nt) le plus de problèmes et requière(nt) le plus de surveillance pour fonctionner avec un rendement optimal? Pouvez-vous estimer les pertes en produit et(ou) les coûts associés au fonctionnement actuel ainsi que les gains qui pourraient être réalisés grâce à la régulation de procédé?

5. Avez-vous déjà essayé de mettre en oeuvre des techniques de régulation de procédé qui ont ensuite été abandonnées? Si oui, pouvez-vous décrire les instruments utilisés et les problèmes qui se sont posés?

ASPECTS PARTICULIERS

1. Soit les activités de régulation de procédé en circuit suivantes :

   Surveillance et étude de tendance

   Démarrage et arrêt séquentiels

   Boucles de régulation simples

   Optimisation de procédé

   Régulation adaptative

   Indiquez à l'aide d'un "X" celles qui s'appliquent à votre usine.

2. Soit les activités de régulation de procédé hors circuit suivantes :

   Modélisation du séparateur densitométrique

   Modélisation du séparateur granulométrique

   Modélisation de la flottation

   Modélisation du broyeur

   Modélisation de l'épaississeur

   Indiquez à l'aide d'un "X" celles qui s'appliquent à votre usine.

3. Quels principes de régulation utilisez-vous dans les boucles de régulation simples (PI, PID ou autre)? À quels variables de procédé sont-ils appliqués?

4. Quel type de système de régulation (analogique ou numérique) utilisez-vous dans les boucles de régulation simples?

5. Quelles stratégies de régulation utilisez-vous dans les circuits (bac à piston, cyclone à milieu dense, cyclone à eau, flottation, récupération de l'eau, etc.)?

6. Quelle stratégie de régulation utilisez-vous au niveau de l'usine?

7. Quels types de systèmes informatiques utilisez-vous pour la régulation de procédé en circuit?

8. Décrivez brièvement votre expérience avec le système informatique utilisé (fiabilité, environnement industriel, etc.).

9. Quels types d'ordinateurs utilisez-vous pour la régulation de procédé hors circuit ou pour la prévision ou l'évaluation?

10. Remarques :

ANNEXE B

LES APPLICATIONS DE L'ORDINATEUR DANS LA PRÉPARATION DU CHARBON

LES APPLICATIONS DE L'ORDINATEUR DANS LA PRÉPARATION DU CHARBON

Au cours des vingt dernières années, la technologie informatique s'est développée de manière spectaculaire. Les progrès rapides réalisés dans le domaine du matériel et les progrès moins rapides, mais importants, enregistrés dans le domaine des logiciels ont conduit à la mise au point des mini-ordinateurs, des micro-ordinateurs et des microprocesseurs. La régulation par ordinateur occupe déjà une place importante dans l'industrie des minéraux. Bien que certains progrès aient été réalisés en ce qui concerne l'utilisation des ordinateurs dans la préparation du charbon, il convient de redoubler d'effort pour tirer profits de tous les avantages offerts par la technologie informatique.

Les ordinateurs peuvent être utilisés de deux façons dans les usines de préparation du charbon : en circuit et hors circuit. Cependant, les progrès réalisés dans un domaine pourraient servir dans l'autre. Des réalisations importantes ont été décrites dans le domaine des applications hors circuit de l'ordinateur, en particulier dans les domaines de la modélisation de procédé (modèles statiques), de l'évaluation et de la prévision du rendement, de l'analyse et de l'optimisation du schéma de traitement ainsi que de l'analyse statistique (fig. B-1). Cependant, on note peu de réalisations en ce qui concerne les applications en circuit, en particulier dans les domaines de la régulation de procédé, du contrôle par modèle de référence, de l'optimisation de procédé et de la régulation adaptative.

Ordinateur, appareillage et régulation

Bien avant l'invention de l'ordinateur, l'être humain faisait partie intégrante d'un grand nombre de systèmes industriels : les capteurs humains étaient utilisés pour détecter les variables de procédé et le cerveau était mis à contribution pour la prise de décision. Puis, des instruments de contrôle ont été mis au point pour remplacer les capteurs humains et les techniciens se servaient de ces instruments pour prendre des décisions quant au réglage des variables de procédé en vue d'atteindre certains objectifs. La performance du système être humain-procédé était acceptable, jusqu'à un certain point, mais les erreurs humaines et les retards constituaient des inconvénients importants. La réponse du système global était lente et la précision et l'exactitude laissaient à désirer. L'invention de l'ordinateur a révolutionné le principe du système être humain-procédé en transférant une partie des tâches relatives à la prise de décision de l'être humain à l'ordinateur. Les ordinateurs peuvent effectuer ces tâches, avec exactitude et fiabilité, en un temps beaucoup plus court. En conséquence, le rôle de l'être humain se limite de plus en plus à la surveillance et à la prise de décision à un niveau plus élevé. Dans un tel système (être humain-ordinateur-procédé), la plupart des inconvénients de l'ancien système (être humain-procédé) ont été éliminés et, partant, la rapidité, la précision et la fiabilité du système global ont été considérablement améliorées.

Le procédé et l'ordinateur sont reliés par l'intermédiaire des instruments de contrôle. Pour obtenir une bonne régulation, les instruments de contrôle et les capteurs doivent être précis et sûrs car des mesures erronées entraînent des erreurs dans la régulation. Par conséquent, les intruments de contrôle constituent la clé du succès de tout système de régulation. En général, les commandes de régulation du procédé sont produites par l'ordinateur, mais on utilise parfois des unités de régulation telles que les régulateurs logiques programmables (RLP) à la place des ordinateurs, ou en même temps que les ordinateurs. Les RLP et l'ordinateur comportent tous les deux des processeurs (électronique fonctionnelle), mais les RLP sont destinés à certaines tâches et ils sont relativement peu coûteux et robustes, en particulier dans l'environnement hostile d'une usine de préparation du charbon. L'ordinateur coûte plus cher qu'un RLP, mais il a une capacité beaucoup plus grande.

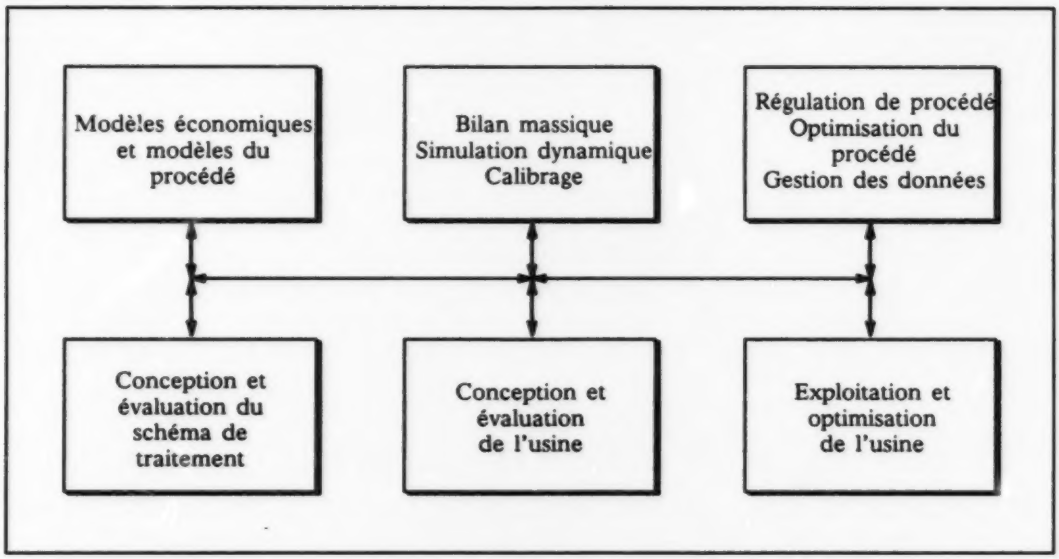


Fig. B–1 – Les ordinateurs dans la préparation du charbon

ANNEXE C

RÉGULATION DE PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DU CHARBON

RÉGULATION DE PROCÉDÉ DE PRÉPARATION DU CHARBON

La préparation du charbon consiste à améliorer la qualité du charbon tout-venant de façon qu'il satisfasse certains critères de qualité. L'hétérogénéité naturelle du charbon gêne considérablement le processus car elle se traduit par de grandes variations dans les caractéristiques (lavabilité, granulométrie, caractéristiques superficielles, etc.) du produit d'alimentation, ce qui entraîne une détérioration des procédés de lavage. La régulation de ces procédés et des appareils nécessaires, si elle est effectuée adéquatement, peut présenter plusieurs avantages :

- amélioration de la qualité du produit
- meilleure utilisation du matériel grâce à une réduction des temps d'arrêt
- élimination des limites humaines
- possibilité d'une production entièrement automatisée.

La régulation de procédé, quant à elle, requiert :

- une compréhension du procédé de préparation par le biais de lois physiques gouvernant le procédé ou de données recueillies qui permettent d'établir des modèles dynamiques réalistes (non simplifiés) du procédé (modèles mathématiques, empiriques ou autres);

- un système dont les éléments fonctionnent en harmonie les uns avec les autres pour que le système de régulation de procédé soit efficace;

- le changement de tout le système et l'adaptation de ce système en fonction des résultats et améliorations obtenus avec la régulation de procédé.

En général, les systèmes de régulation de procédé ont pour but d'optimiser le rendement et de satisfaire aux normes de qualité du produit à l'aide de :

- capteurs
- contrôleurs électroniques
- actionneurs
- stratégie de régulation adéquate énoncée dans le logiciel

Procédés susceptibles d'être régulés

Préparation du charbon
Déshydratation
Séchage

VARIABLES DE PROCÉDÉ

Pression
Densité
Débit
Température
Force
pH
Vibration
Turbidité

Capteurs

Analogique
Numérique

ou

Variable électrique
Variable mécanique
Variable fluidique
Variable thermique
Variable optique

Actionneurs

Solénoïdes
Relais
Cylindres hydrauliques
Cylindres pneumatiques
Moteurs pas à pas

Conversion de données

Normale
Spécifique

INTERFACE D'ORDINATEUR

Les signaux sont faibles et ne peuvent pas être introduits directement dans le canal périphérique de données de l'ordinateur pilote.

Amplificateurs de signaux

Problème de dérive
Éléments intégrés (intégration à grande échelle)
Avantages : large gamme de fréquences/C.C.–C.A. jusqu'aux MHz

Multiplexeurs

Bas niveau
- Peu coûteux
- Transducteur/capteur avec une faible impédance, signal de haut niveau
- Convertisseur A/N/amplificateur périphérique

Haut niveau
- Signal faible/faible amplitude
- Amplification préalable

Stratégie de régulation

Différents niveaux d'automatisation possibles :
- Capteurs – opération humaine
- Capteurs – traitement de signaux "intelligents"
- Capteurs – commandés par ordinateur
- Capteurs – système de commande informatisé
- Commande adaptative des contraintes
- Optimisation adaptative

La stratégie de régulation ainsi que le matériel et les logiciels nécessaires pour le système de régulation dépendent du niveau d'automatisation.

ANNEXE D

SYSTÈMES DE RÉGULATION DE PROCÉDÉ EXISTANTS

Tableau D-1 – Systèmes de régulation de procédé existants

MODÈLE ET FABRICANT	PROCESS SYSTEMS MICON	BAILEY NETWORK 90	ROSEMOUNT SYSTEM 3	MOORE MYCRO	FISHER & PORTER MICRO DCI	CLASSEMENT
Caractéristique PRÉSENTATION DU RÉGULATEUR	15 entrées analogiques 8 sorties analogiques 16 entrées discrètes 8 sorties discrètes	NCOM 03 4 entrées analogiques 2 sorties analogiques 3 entrées discrètes 4 sorties discrètes NMFC 01 252 entrées analogiques 126 sorties analogiques 189 entrées discrètes 252 sorties discrètes	16 entrées/sorties analogiques (14 entrées, 4 sorties ou 8 entrées, 8 sorties ou toute autre combinaison). Les contrôleurs de contact sont des appareils distincts. Des éléments supplémentaires font fonctionner ces contrôleurs.	Contrôleur multiboucle 64 entrées analogiques 32 sorties analogiques 400 entrées/sorties discrètes Sous la forme d'un meuble vertical	Boucle simple, chaque contrôleur possédant son propre affichage et sa propre configuration et panneau latéral ou contrôleurs sans affichage ni configuration. Peut être monté en armoire.	MICON supérieur MOORE, BAILEY ROSEMOUNT égaux F&P – boucle simple
CONFIGURATION ET AFFICHAGE DU CONTRÔLEUR LOCAL	Excellentes. Configuration sur le panneau latéral, affichage sur le panneau avant et commande de boucle. Peut être obtenu aveugle et(ou) sans panneau de configuration.	Pour la configuration, acheter le module de configuration. Pour l'affichage, acheter la station de commande numérique pour chaque boucle nécessitant un affichage/conf. local.	Pour l'affichage, acheter des stations de commande individuelles pour chaque boucle nécessitant un affichage. Méthode de configuration locale non illustrée.	Affichage sur terminal à écran cathodique (dans un meuble ou portatif). Configuration à partir du terminal à écran cathodique et d'un clavier supplémentaire.	Une version montée en armoire comporterait des contrôleurs aveugles, un pour chaque boucle au besoin, un superviseur, un panneau de programmation.	MICON très bon F&P bon MOORE ensuite si MYCROterm est inclus dans le meuble. ROSEMOUNT, BAILEY, égaux.
CLAVIER OU CLAVIERS	Un clavier spécial pour toutes les fonctions. Protection contre le café. Touches spéciales pour accéder à l'affichage et manipuler les boucles de régulation. Configuration et production de graphiques également à partir de ce clavier.	Clavier spécial pour le fonctionnement et la configuration. Deuxième clavier enfichable pour la production de graphiques. Touches pour accéder à l'affichage et faire fonctionner les contrôleurs.	Clavier spécial, on ne sait pas si un clavier permet toutes les fonctions.	Pour 2. Clavier de commande spécial, clavier de configuration distinct. Production de graphiques assistée par un numériseur et un clavier de configuration.	Un clavier pour la régulation de procédé; un clavier distinct pour la configuration.	MICON (1 seulement) BAILEY (2) ROSEMOUNT (avec pupitre universel) MOORE, ROSEMOUNT (avec mini-pupitre) F&P, surface non étanche.

Tableau D-1 (suite)

MODÈLE ET FABRICANT	PROCESS SYSTEMS MICON	BAILEY NETWORK 90	ROSEMOUNT SYSTEM 3	MOORE MYCRO	FISHER & PORTER MICRO DCI	CLASSEMENT
CHOIX D'INTERFACE AVEC L'OPÉRATEUR	Un choix seulement. Exécute toutes les fonctions.	Un choix. Possibilité de remplacer par un poste de travail pour ingénieur.	1. Mini-pupitre. 2. Pupitre de commande. 3. Pupitre universel.	1. MYCRO term intégré, portatif ou pupitre. 2. Terminal à écran cathodique MYCRO basic.	Souvent utilisé sans terminal à écran cathodique; le superviseur peut être relié à un terminal à écran cathodique en couleur et à un clavier.	Pas de classement.
INTERFACE AVEC L'ORDINATEUR CENTRAL INTERFACE AVEC LE RLP	Interface avec le RLP. Bulletin MDC200 11s. Interface avec l'ordinateur 9600 bauds - voir livre PG.85 MDC800. Permet l'accès à tous les points ainsi que des modifications. Logiciel nécessaire.	Interface avec l'ordinateur CIU. Logiciel disponible pour l'ordinateur HP 1000, sous-programmes en Fortran. Transmission ASCII ou binaire. Liaison avec le RLP aussi disponible.	Interface avec l'ordinateur disponible en automne 85.	Le système particulier ICI-3 doit donner accès à toutes les données du système MYCRO.	Disponible à partir du superviseur à l'aide du RS232 avec diverses vitesses. Programmation nécessaire.	BAILEY (logiciel mis au point) MICON ROSEMOUNT MOORE F&P
CAPACITÉ DE CALCUL, FONCTIONS	70 fonctions, dont 10 fonctions mathématiques. Les blocs de fonctions servent exclusivement à faciliter la programmation.	MEC peut exécuter 1000 lignes de BASIC pour des fonctions définissables par l'utilisateur, plus 60 fonctions mathématiques. La programmation en BASIC requiert des terminaux extérieurs et une mémoire à disques extérieure.	32 opérations mathématiques. 25 autres fonctions; des fonctions définissables par l'utilisateur peuvent aussi être écrites et interconnectées.	27 fonctions programmées (algorithmes). La fonction calculateur (#18) permet d'effectuer n'importe quel calcul ou de prendre n'importe quelle décision.	3 fonctions préprogrammées. Programmation d'autres fonctions par l'utilisateur. Langage de programmation spécial F-TRAN. Pas aussi pratique pour la programmation.	BAILEY COM 03, mais il est difficile d'utiliser toutes les capacités à cause de la programmation. ROSEMOUNT MICON MOORE F&P

Tableau D-1 (suite)

MODÈLE ET FABRICANT	PROCESS SYSTEMS MICON	BAILEY NETWORK 90	ROSEMOUNT SYSTEM 3	MOORE MYCRO	FISHER & PORTER MICRO DCI	CLASSEMENT
AFFICHAGE SUR ÉCRAN CATHODIQUE L'INTERFACE AVEC L'UTILISATEUR	Couleur. Données en temps réel. Peut fonctionner à partir de graphiques personnalisés. LOOP, MICON GROUP, BULK GROUP, ALARM SUMMARY, TREND INPUT avec TREND, ANNUNCIATOR, FUNCTION VALUE.	Couleur. Données en temps réel. Peut fonctionner à partir de graphiques personnalisés. INPUT, LOOP, GROUP, AREA, ALARM, SYSTEM STATUS, PCU STATUS, OIU STATUS, TUNING TRENDING.	Pour 1 et 2. Mono. Temps réel. GROUP, ANALOG FACE PLATE, TREND, ALARM, CONF, STATUS. NO CUSTOM Pour 3. Couleur. Beaucoup, mais disponible en 1985.	Pour 2. Couleur. Données en temps réel. Fonctionne à partir de graphiques personnalisés. OVERVIEW, GROUP, GRAPHIC, POINT DTL., TREND facultatif.	Affichages préformatés : résumé, groupe, point	BAILEY MICON MOORE ROSEMOUNT
EXTENSIBILITÉ	Ajouter un nouveau MICON pour chaque groupe de 8 boucles. Conserver les nouveaux systèmes sur le MICON approprié.	Nouveau COM pour chaque groupe de 8 boucles. Les nouveaux systèmes sont branchés sur la première armoire si elle est assez grosse. Un MFC convient pour le présent et l'avenir.	Les nouveaux systèmes se branchent sur la même armoire; 8 boucles/unité.	Une unité est assez importante (32 sorties analogiques) et la première unité pourrait suffire pour tous les systèmes à venir.	Peut être étendu; assez important pour toutes les boucles de l'usine pilote.	Choix réduit. L'apparition d'un nouveau MICON pour chaque nouveau système est un atout. Pour la flottation par mousse, le MICON est le plus compact -1 meuble.
ESPACE	Installation la plus compacte.	Un meuble plus interface.	Un meuble plus interface.	Un meuble plus interface.	Peut tenir dans un meuble.	MICON, F&P, les autres égaux.
COÛT À CAPACITÉS SIMILAIRES	35 684 1 376 1 238 2 591 320 1 754 18 818 8 089 15 550 7 110 92 530 $	109 628 -7 269 MPC HP 100 -7 860 logiciel 94 499 $	5 675 835 2 500 10 500 47 700 5 000 325 8 500 2 500 30 650 114 185 $	45 500 9 560 38 220 5 720 1 050 10 005 3 900 113 955 $	Capacités différentes	MICON et BAILEY sont proches. MICON préféré à cause de la présentation. BAILEY préféré à cause du logiciel HP 1000.

ANNEXE E

VARIABLES ASSOCIÉES AUX DIFFÉRENTS CIRCUITS

VARIABLES ASSOCIÉES AUX DIFFÉRENTS CIRCUITS

BAC À PISTON

Variables perturbatrices

- Catégorie et type de charbon
- Granulométrie du produit brut
- Présence de schlamms argileux
- Vitesse d'alimentation

Variables mesurées

- Composition du charbon
- Débits volumiques
- Densité de la pulpe
- Teneur en cendres du produit

Variables réglables

- Profondeur du lit
- Taux d'alimentation de l'eau d'appoint
- Fenêtre d'impulsions et fréquence

Variables réglées

- Récupération (rendement)
- Catégorie (valeur Btu)
- Charges en circulation
- Teneur en cendres du produit

BAIN À MILIEU DENSE

Variables perturbatrices

- Catégorie et type de charbon
- Granulométrie du produit brut
- Présence de schlamms argileux
- Vitesse d'alimentation
- Pertes de magnétite
- Eau injectée

Variables mesurées

- Débits volumiques
- Densité du milieu
- Niveau
- Viscosité
- Teneur en cendres du produit

Variables réglables

- Densité du milieu (rapport magnétite/eau)
- Viscosité du milieu
- Temps de rétention
- Courant ascendant
- Vitesses de sédimentation
- Niveau du séparateur magnétique

Variables réglées
- Récupération (rendement)
- Catégorie (valeur Btu)
- Charges en circulation
- Teneur en cendres du produit

CYCLONE À MILIEU DENSE

Variables perturbatrices
- Catégorie et type de charbon
- Granulométrie du produit brut
- Présence de schlamms argileux
- Vitesse d'alimentation
- Pertes de magnétite
- Eau injectée

Variables mesurées
- Débits volumiques
- Densité du milieu
- Niveau
- Viscosité
- Teneur en cendres du produit

Variables réglables
- Densité du milieu (rapport magnétite/eau)
- Viscosité du milieu
- Niveau du séparateur magnétique
- Niveau du puisard

Variables réglées
- Récupération (rendement)
- Catégorie (valeur Btu)
- Charges en circulation
- Teneur en cendres du produit

CYCLONE À EAU

Variables perturbatrices
- Catégorie et type de charbon
- Granulométrie du produit brut
- Présence de schlamms argileux
- Vitesse d'alimentation
- Pourcentage de solides

Variables mesurées
- Débits volumiques
- Niveau
- Viscosité
- Teneur en cendres du produit

Variables réglables
- Niveau du puisard
- Réglage du chercheur de tourbillon
- Vitesse d'alimentation
- Pression

Variables réglées
- Récupération (rendement)
- Catégorie (valeur Btu)
- Charges en circulation
- Teneur en cendres du produit

SPIRALES

Variables perturbatrices
- Catégorie et type de charbon
- Granulométrie du produit brut
- Présence de schlamms argileux
- Vitesse d'alimentation
- Pourcentage de solides

Variables mesurées
- Débits volumiques
- Teneur en cendres du produit

Variables réglables
- Réglages des diviseurs
- Vitesse d'alimentation

Variables réglées
- Récupération (rendement)
- Catégorie (valeur Btu)
- Charges en circulation
- Teneur en cendres du produit

CELLULE DE FLOTTATION

Variables perturbatrices
- Catégorie et type de charbon
- Oxydation du charbon
- Granulométrie du produit brut
- Présence de schlamms argileux
- Composition de l'eau (pH, dureté)
- Vitesse d'alimentation

Variables mesurées
- Composition du charbon
- Débits volumiques
- Densité de la pulpe
- Niveau
- Apport d'énergie

Variables réglables

- Niveau d'addition du réactif (moussant, mazout)
- Rapport d'addition du moussant
- Points d'addition du réactif
- Aération
- Vitesse de l'agitateur
- Niveau de la pulpe
- Temps de conditionnement
- Taux d'aspersion de la mousse
- Séparation grossière/fine

Variables réglées

- Récupération (rendement)
- Catégorie (valeur Btu)
- Charges en circulation
- Niveau de mousse
- Pourcentage de solides

ÉPAISSISSEUR

Variables perturbatrices

- Vitesse d'alimentation
- Pourcentage de solides
- Composition de l'eau (pH, dureté)
- Éléments en traces

Variables mesurées

- Débits volumiques
- Niveau
- Apport d'énergie
- Couple
- pH
- Vitesse de sédimentation
- Clarté

Variables réglables

- Addition de flocculants
- Vitesse de sédimentation
- Clarté
- Niveau de boue

Variables réglées

- Vitesse de sédimentation
- Clarté
- Évacuation de boue
- pH

ANNEXE F

TRANSDUCTEURS UTILISÉS DANS LA PRÉPARATION DU CHARBON

TRANSDUCTEURS UTILISÉS DANS LA PRÉPARATION DU CHARBON

TRANSDUCTEURS SERVANT À L'EXPLOITATION DE L'USINE

Contrôle de la vitesse
- Contacteurs tachymétriques
- Contacteurs de proximité à induction
- Capteur à interrupteur à lames souples
- Capteur à effet Hall
- Détecteur de mouvement radar

Contrôle des vibrations
- Commutateur à lames magnétiques
- Accéléromètre piézoélectrique

Détection des manches bloquées
- Interrupteur à bascule
- Capteur capacitif
- Ultrasons
- Détecteur photoélectrique

TRANSDUCTEURS SERVANT À LA RÉGULATION DE PROCÉDÉ

Mesure de l'écoulement des solides
- Bascules à courroie gravimétriques
- Bascules à courroie nucléoniques

Mesure du niveau des solides
- Interrupteurs à bascule
- Manostats
- Contacteurs à palette
- Interrupteurs nucléoniques
- Fil à plomb
- Échosondeurs
- Transducteur de chaîne de pesage
- Techniques radar

Mesure de la teneur en cendres
- Échantillon de volume constant
- Mesures nucléoniques
- Fluorescence du fer
- Rétrodiffraction du plutonium

Mesure de la teneur en soufre
- Indication de la teneur en fer

Mesure de l'humidité
- Mesure de capacitance
- Mesure aux micro–ondes

Mesure de la densité des liquides
- Pression différentielle
- Densitomètre nucléonique

Mesure du niveau des liquides
- Interrupteurs à flotteur
- Capacitance
- Conductibilité
- Pression différentielle
- Échosondeurs
- Ultrasons

Mesure du débit des liquides
- Débitmètres magnétiques
- Débitmètres à effet Doppler
- Débitmètres à temps de transit
- Ultrasons

TRANSDUCTEURS SERVANT AU CONTRÔLE DE LA PRODUCTION

- Bascules à courroie à plusieurs galets

TRANSDUCTEURS SERVANT AU CONTRÔLE DE L'ENTRETIEN

- Température des coussinets
- Pression de l'huile
- Vibrations
- Mauvais alignement